



⑦① Anmelder:

G. Rodenstock Instrumente GmbH, 8000 München,
DE

⑦④ Vertreter:

Münich, W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Neidl-Stippler,
C., Dipl.-Chem.Dr.phil.nat.; Petra, E., Dipl.-Ing.,
PAT.-ANW.; Schiller, W., Dr.; Steinmann, O., Dr.,
RECHTSANW., 8000 München

⑦② Erfinder:

Reis, Werner, 8000 München, DE; Bisle, Werner,
8027 Neuried, DE

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung eines Laserstrahlflecks einstellbarer Größe

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Erzeugung eines Laserstrahlflecks mit einstellbarer Größe auf einem Objekt, insbesondere im menschlichen Auge. Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, daß der Laserstrahl nach einem vorbestimmten Abtastmuster über die Strahlfleckfläche bewegt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung eines Laserstrahlflecks mit einstellbarer Größe auf einem Objekt, insbesondere im menschlichen Auge, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl, der einen kleinen Fokussierungsfleck und einen großen Öffnungskegel aufweist, mit einem vorbestimmten Austastmuster über die Strahlfleckfläche bewegt wird. 5
2. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl auf einer Kreisringbahn umläuft. 10
3. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchmesser des Kreisrings verstellt wird. 15
4. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Energie der Laserstrahlung mit wachsendem Kreisringdurchmesser erhöht wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahl der Umlaufbewegung des Laserstrahls mit wachsendem Kreisringdurchmesser herabgesetzt wird. 20
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungsintensität des Laserstrahls zum Rand des Laserstrahlflecks hin kontinuierlich verstärkt oder abgeschwächt wird. 25
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchmesser der Kreisringbahn manuell eingestellt wird. 30
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchmesser der Kreisringbahn automatisch vergrößert wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl automatisch umläuft. 35
10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl zeilenweise über die Strahlfleckfläche bewegt wird. 40
11. Vorrichtung zur Erzeugung eines Laserstrahlflecks mit einstellbarem Durchmesser auf einem Objekt, insbesondere im menschlichen Auge, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, gekennzeichnet durch eine Einrichtung mit zumindest einem bewegbaren Optikeil (20, 22; 70; 100) im Strahlengang des Laserstrahls, die den Laserstrahl nach einem vorbestimmten Austastmuster über die Strahlfleckfläche bewegt. 45
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung eine Taumleinrichtung ist. 50
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Taumleinrichtung um eine erste Achse eine Drehbewegung (78) und um eine zweite Achse eine Kippbewegung (72) ausführt. 55
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung als Optikteile zwei übereinander angeordnete schwenkbare Planplatten (20, 22) umfaßt, deren Schwenkachsen einen Winkel miteinander bilden, und das eine Antriebseinrichtung (28, 30) vorgesehen ist, die die Planplatten phasenverschoben um ihre Schwenkachsen schwenkt.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Planplatten (20, 22) einen Winkel von 90° bilden und daß die Antriebs-

einrichtung zwei Winkelmotoren (28, 30) umfaßt, die mit um 90° zueinander verschobenen Sinus-Signalen angesteuert werden.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Optikeil ein Spiegel (70) ist.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Optikeil eine Planplatte (100) ist.
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Optikeil (70, 100) um zwei Schwenkachsen verschwenkbar ist.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß ein drehzahl geregelter Motor (28, 30; 74) für die Drehung des Optikteils (20, 22; 70, 100) um eine Schwenkachse vorgesehen ist.
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, 16 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß ein Antriebsmotor (124) für die Kippbewegung des Optikteils um die andere Schwenkachse vorgesehen ist.
21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Optikeil (70; 100) um die andere Schwenkachse manuell kippbar ist.
22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß für die Bewegung des Optikteils (100) eine Magnetanordnung (152, 154, 158) vorgesehen ist.
23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Halterung (146, 146) des Optikteils (100) eine erste Magnetanordnung (152) aufweist und daß eine zweite, stationäre Einzelmagnetelemente aufweisende Magnetanordnung (158) vorgesehen ist, die mit der ersten Magnetanordnung (152) zusammen wirkt, wobei die einzelnen Magnetelemente (158) zyklisch an- und abstoßend sind und eine Taumelbewegung des Optikteils erzeugen.
24. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß bezüglich der ersten Magnetanordnung (152) entgegengesetzt zur zweiten Magnetanordnung (158) eine dritte, stationäre Magnetanordnung (154) vorgesehen ist, die die erste Magnetanordnung (152) abstoßt.
25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und die dritte Magnetanordnung (152, 154) aus Permanentmagneten bestehen und daß die Einzelmagnetelemente (158) der zweiten Magnetanordnung Spulen sind.
26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl der Spulen (158) 3 oder 4 ist und daß den Spulen jeweils phasenverschoben ein Strom aufgeprägt wird.

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung eines Laserstrahlflecks mit einstellbarer Größe gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 bzw. 11.

Die Lasertechnik wird in vielen technischen Gebieten in zunehmendem Maße angewendet. In der Medizin sind neue Operationstechniken entwickelt worden, die die Heilung oder zumindest Linderung von bis dahin nichtbehandelbaren Krankheiten ermöglichen. Dies gilt insbesondere für Augenoperationen, bei denen Koagu-

late am Auge erzeugt werden. Ein Problem bei dieser Art von Augenoperationen besteht darin, daß je nach Schädigung des Auges ein unterschiedlich großer Fleck zu behandeln ist. Derzeit werden unterschiedlich große Strahlfleckgrößen mittels Schalt- oder Zoomvorrichtungen erzeugt. Dies hat den Nachteil, daß ein Laserstrahl relativ hoher Energie verwendet werden muß, um auch bei größeren Strahlfleckgrößen von z.B. über 1000 am noch ausreichend Energie zur Verfügung stellen zu können. Wird zunächst mit kleiner Strahlfleckgröße gearbeitet, so wird die zu behandelnde Fläche mit einem Laserstrahl mit sehr hoher Energie bestrahlt, und es kann daher zu Verletzungen an der Hornhaut oder Iris kommen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ausgehend von diesem Stand der Technik das eingangs genannte Verfahren und die Vorrichtung zur Erzeugung eines Laserstrahlflecks derart weiterzuentwickeln, daß auch bei unterschiedlich großen Fleckgrößen Verletzungen an der Hornhaut oder Iris aufgrund zu hoher Strahlungsin-
tensität im wesentlichen vermieden sind.

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß bei einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und einer Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 11 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteran-
sprüchen angegeben.

Die Vermeidung von Strahlenschäden wird erfindungsgemäß dadurch erzielt, daß die zu bestrahlende Fläche auf dem Objekt nicht mit einem stationären Laserstrahl relativ hoher Energie bestrahlt wird, sondern vielmehr mit einem stets gleichgroßen Strahlungskegel des Lasers bestrahlt wird, der die zu bestrahlende Fläche nach einem vorgegebenen Muster überstreicht. Je nach Einstellung dieser Überstreichbewegung können somit unterschiedlich große Fleckgrößen realisiert werden. Die Größe dieser Strahlflecken kann dabei entsprechend dem gewählten Austastmuster stufenlos eingestellt werden, wodurch eine zoom-artige Verstellbarkeit gewährleistet ist. Entsprechend der anderen Ausführung kann bei einer erfindungsgemäßen Anordnung auf die Schalt-Zoomoptik eingespart werden, und es ist sogar eventuell eine kleinere Bauweise des Adapters möglich. Dennoch werden Schädigungen wirkungsvoll verhindert, da der Öffnungswinkel des Einstrahlkegels stets gleich bleibt, und sich so die Energiedichte vor der Koagulationsstelle nicht verändert.

Bei der Augenoperationstechnik zum Koagulieren hat sich bei Anwendung der Erfindung eine Laserstrahlfleckgröße von 50 am am Augenhintergrund als besonders zweckmäßig erwiesen. Je nach Art der verwendeten Optik, der Laserstrahlquelle und auch je nach Anwendungsgebiet sind selbstverständlich auch andere Fleckgrößen möglich und sinnvoll.

Insbesondere bei Augenoperationen wird bevorzugt ein kreisförmiger Strahlfleck verwendet. Hierbei ist das Verhältnis von bestrahlter zu behandelnder Fläche besonders günstig, und diese Fleckkonfiguration ist ebenfalls für den Wärmeabfluß besonders vorteilhaft. Unter bestimmten Umständen hat es sich als zweckmäßig erwiesen, statt der kreisförmigen Fläche eine quadratische Fläche zu wählen, für die diese Vorteile im wesentlichen ebenfalls noch gelten.

Erfindungsgemäß wird bei einem kreisförmigen Strahlfleck mit sogenanntem rotierendem Laser gearbeitet, d.h. der Laserstrahl läuft auf einer Kreisringbahn um. Durch Vergrößerung des Bahndurchmessers wird dabei die gewünschte Fleckgröße erzielt. Die Verstellung der Fleckgröße kann dabei automatisch oder ma-

nuell, ganz nach den Erfordernissen, ausgeführt werden. Die Umlaufbewegung des Laserstrahls wird vorteilhaft automatisch durchgeführt, wobei eine übliche Umlaufzeit bei etwa 8 msec. liegt. Dieser Wert ist jedoch nicht einschränkend zu verstehen.

Um eine gleichmäßige Ausleuchtung des Strahlflecks zu erzielen, können verschiedene Maßnahmen getroffen werden. Eine Möglichkeit besteht darin, den Laserstrahl langsamer umlaufen zu lassen, so daß der längere Umlaufweg des Laserstrahls am Rande des Strahlflecks durch eine entsprechend höhere Einwirkzeit ausgeglichen werden kann. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Energie der Laserstrahlung zum Rand hin vorzugsweise kontinuierlich zu erhöhen. In diesem Fall brauchen keine mechanischen Maßnahmen getroffen werden. Je nach den Erfordernissen kann somit die Energie der Laserstrahlung zum Rande des Strahlflecks hin kontinuierlich verstärkt oder abgeschwächt werden.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung umfaßt eine Einrichtung mit zumindest einem bewegbaren Optikeil, wobei die Einrichtung vorteilhaft als Taumeleinrichtung ausgebildet ist, d.h. eine gleichzeitige Bewegung um zwei Achsen ausführen kann. Bei dem oder den Optikeilen handelt es sich bevorzugt um Planplatten oder Spiegel.

Bei einem Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind als Optikeile zwei übereinander angeordnete schwenkbare Planplatten vorgesehen, deren Schwenkachsen einen Winkel miteinander bilden und die phasenverschoben durch eine Antriebseinrichtung vorzugsweise hin- und herschwenkt werden. Zweckmäßig sind die Achsen der beiden Planplatten in einem Winkel von 90° zueinander angeordnet, und die beiden Planplatten werden mittels Winkelmotoren mit um 90° zueinander verschobenen Signalen, vorzugsweise Sinus-Signalen angetrieben. Durch diese aufeinander abgestimmte Auslenkung mittels der beiden Planplatten kann der Laserstrahl in eine kreisförmige Rotationsbewegung versetzt werden.

Bei einem anderen vorteilhaften Ausführungsbeispiel der Erfindung ist das Optikeil ein Spiegel, der um eine Schwenkachse gedreht und um eine andere Schwenkachse gekippt wird. Durch die Drehbewegung des Spiegels wird wiederum ein Rotieren des Laserstrahls erzeugt, wobei der Durchmesser des vom Laserstrahl überstrichenen Kreistrings durch Kippen des Spiegels kontinuierlich verstellt werden kann. Mittels einer Drehzahlregelung des spiegeldrehenden Motors kann die Strahlungsleistung, die auf den Strahlfleck auftrifft, kontinuierlich eingestellt werden.

Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung ist als optisches Element eine rotierende, kippbare Glasplatte vorgesehen, die den Laserstrahl auslenkt und in eine Kreisbewegung mit ebenfalls einstellbarem Durchmesser versetzt. Durch kontinuierliche Vergrößerung der Kippung kann selbstverständlich auch eine spiralförmige Bewegung des Laserstrahls erzeugt werden. Alternativ ist auch eine zeilenweise Abrasterung möglich, bei der jedoch die bevorzugte Kreisform des Strahlflecks verlassen werden muß.

Um eine möglichst genaue Führung des Laserstrahls zu erzielen und eine möglichst große Bewegbarkeit des Optikeils zu erreichen, ist das Optikeil vorzugsweise kardanisch aufgehängt, so daß Kippbewegungen in jeder Richtung möglich sind. Hierdurch ist eine weitgehend spiel- und reibungsfreie Lagerung ermöglicht, bei der radiale Verdrehungen verhindert sind. Erfindungsgemäß kann die Taumeleinrichtung eine mechanische

Einrichtung sein. Ganz bevorzugt ist eine Ausführung der Taumelbewegung auf elektromagnetischem Wege. Dies gestattet eine Ausbildung der Anordnung mit wenig Verschleißteilen und ermöglicht eine schnelle Einstellung der gewünschten Position des Optikteils. Der kardanisch gelagerte Teil der Einrichtung besteht aus Dauermagneten, denen gegenüberliegend entgegengesetzt wirkende Dauermagneten angeordnet sind, und den Taumelkörper in der Ruhelage stabilisieren. Auf der anderen Seite sind bevorzugt Magnetspulen angeordnet, die phasenversetzt betätigt werden und örtlich und zeitlich versetzt jeweils auf den Taumelkörper anziehende Momente ausüben. Hierdurch kann eine exakte kreisförmige Taumelbewegung des Optikteils herbeigeführt werden.

Zweckmäßig ist eine Verlagerung des Kardangelenks der Anordnung zum Zentrum hin, so daß die beim Taumeln bewegten Massen kleingehalten werden können, was zu einer höheren mechanischen Resonanzfrequenz der Anordnung führt. Eine weitere Verbesserung in dieser Hinsicht ist eine Verringerung der bewegten Massen insgesamt. Hierdurch kann erreicht werden, daß die Taumelfrequenz in einem sicheren Abstand unterhalb der Resonanzfrequenz der mechanischen Anordnung liegt. Aufgrund der Fleckgröße und der Wirkung des Laserflecks auf der Netzhaut ergibt sich eine maximal notwendige Taumelfrequenz von etwa 20 Hz.

Es können vorteilhaft mechanische Anschläge vorgesehen sein, um zu verhindern, daß die Magnete bei großen Ausschlägen der Taumelanordnung kleben, d.h. an dem gegenüberliegenden Dauermagneten oder Polen der Elektromagnete hängenbleiben. Eine andere Maßnahme zur Lösung dieses Problems kann darin bestehen, die fest angeordneten Magneten so anzuordnen, daß sie bei maximalen Auslenkungen mit ihren Stirnflächen zueinander ausgerichtet sind. Bei einer bevorzugten Ausführungsform kann die erfindungsgemäße Vorrichtung auf drei verschiedene Arten betrieben werden: Im Handbetrieb, bei dem Taumelbewegung Schritt für Schritt nachvollzogen werden kann; halbautomatisch, wobei die Taumelbewegung jederzeit wieder angehalten werden kann bzw. alternativ der Taumelradius nachgestellt werden kann, und vollautomatisch.

Die Erfindung wird im folgenden anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele und der Zeichnung weiter erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Einrichtung, die zwei übereinander angeordnete schwenkbare Planplatten als Optikteile aufweist,

Fig. 2a und 2b zwei weitere Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei der das Optikteil ein Spiegel ist,

Fig. 3 ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei der das Optikteil eine Glasplatte ist,

Fig. 4 ein Beispiel einer Halterung und Aufhängung der in Fig. 3 gezeigten Glasplatte,

Fig. 5 ein weiteres Beispiel für die Halterung und Aufhängung der in Fig. 3 gezeigten Glasplatte,

Fig. 6a bis 6c detaillierte Darstellungen der in Fig. 5 gezeigten Halterungsanordnung, und

Fig. 7 eine Variante der Magnetanordnung.

In Fig. 1 ist ein erstes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung dargestellt. Im Strahlengang des Lasers, der mit dem Pfeil 10 angedeutet ist, sind zwei identische rechteckförmige Planscheiben übereinander mit Abstand voneinander angeordnet. Die beiden Planplatten 20, 22 sind dabei so übereinander

angeordnet, daß sie mit einem Teil ihrer Flächen einander überlappen, wobei ihre Längsachsen einen Winkel von 90° miteinander bilden und der Laserstrahl durch den Überlappungsbereich im wesentlichen in dessen Mitte hindurchtritt. In Verlängerung ihrer Längsachsen sind die beiden Planplatten 20, 22 jeweils mit einem Wellenabschnitt 24, 26 versehen, der jeweils an einen Antriebsmotor, d.h. einen Winkelmotor 28 bzw. 30 angekoppelt ist. Im gezeigten Ausführungsbeispiel werden die beiden Planplatten um jeweils 10° aus der Horizontalen in beide Richtungen verschwenkt. Dabei wird die Achse des Wellenabschnitts 24 als X-Achse und die Achse des Wellenabschnitts 26 als Y-Achse bezeichnet. Die beiden Achsen werden mit um 90° zueinander versetzten Signalen, im gezeigten Ausführungsbeispiel mit Sinus-Signalen, gesteuert, was durch den Zusatz "sin" bzw. "cos" für Sinus und Cosinus in der Zeichnung angedeutet werden soll. Dieser Zusammenhang ist im schematischen Schaubild in Fig. 1(b) durch zwei zueinander versetzt gezeichnete Sinus-Kurven x und y veranschaulicht.

Während Fig. 1(b) als Draufsicht auf die Planplattenanordnung die relative Lage der Schwenkachsen 26 und 24 zueinander veranschaulicht, wird in Fig. 1(a) die unterschiedliche Verschwenkung der beiden Planplatten 20 und 22 durch die Pfeile 34 und 36 weiter erläutert. Der Pfeil 10 deutet den Strahlengang des Laserstrahls bei unbewegten Platten an. Durch die phasenverschobene Verschwenkung der beiden Planplatten wird der Laserstrahl so ausgelenkt, daß er eine kreisförmige Rotationsbewegung ausführt. Dies ist unten in Fig. 1(b) durch den kreisförmigen Pfeil 12 angedeutet.

Fig. 2(a) und (b) zeigen zwei Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei der als Optikteil ein Spiegel verwendet ist. Es wird zunächst die Fig. 2(a) beschrieben. Eine Aufweitoptik 60 dient zur Verbreiterung des Laserstrahls. Hinter dieser Aufweitoptik ist ein rotierender, kippbarer Spiegel 70 angeordnet, der in zwei Kipppositionen I und II dargestellt ist, wobei ein Pfeil 72 die Kippbewegung zwischen diesen Positionen I und II veranschaulicht. Die Aufweitoptik ist so konzipiert, daß der Laserstrahl auf dem Spiegel 70 einen Durchmesser von etwa 10 mm besitzt und auf dem Augenhintergrund des Auges 40 einen Strahlfleck von etwa 50 μ m bildet. Den verschiedenen Kipppositionen I und II entsprechen verschiedene Positionen des Strahlflecks in der vertikalen Richtung auf dem Augenhintergrund, was durch die Kennzeichnungen I' und II' angedeutet ist. Ein Motor 74 ist mit einer Drehachsenanordnung 76 mit dem Spiegel 70 verbunden und versetzt den Spiegel in eine sehr schnelle Drehbewegung und kippt ihn zugleich, was durch die Pfeile 72 und 78 angedeutet ist. Der Motor 74 ist drehzahl-geregelt und stufenlos verkipptbar, so daß der Durchmesser der vom Laserstrahl auf dem Augenhintergrund überstrichenen Fläche kontinuierlich verstellbar ist, was eine Realisierung beliebig großer Fleckgrößen auf dem Augenhintergrund gestattet. Wird beispielsweise eine gängige Motordrehzahl von etwa 8000 Umdrehungen pro Minute gewählt, so kann eine Ringzone einmal in etwa 8 msec. überstrichen werden.

In Fig. 2(a) ist ferner der Beleuchtungsstrahlengang schematisch dargestellt. Ein Objektiv 80 dient zur Spaltbeleuchtung. Das Beleuchtungslicht wird durch einen Umlenkspiegel 82 zum Auge hin umgelenkt und gelangt über ein Kontaktglas 50 in das Auge und beleuchtet den Augenhintergrund. Dieser Beleuchtungsstrahlengang ist herkömmlicher Art.

Fig. 2(b) veranschaulicht ein anderes Ausführungsbeispiel mit einem Spiegel als Optikeil. Soweit gleiche Teile in der Anordnung verwendet sind, sind diese mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Der Laserstrahl 10 gelangt wiederum durch eine Aufweitoptik 60 und wird dann jedoch nicht direkt auf den Spiegel 70 geworfen, sondern zunächst durch einen feststehenden Umlenkspiegel 62 um 90° auf den Spiegel 70 geworfen. Für den Antrieb des Spiegels 70 ist wiederum ein drehzahl geregelter Motor 74 vorgesehen, so daß der Spiegel eine Drehbewegung (Pfeil 78) und eine Kippbewegung (Pfeil 72) ausführt. Von diesem Spiegel ausgehend tritt der sich drehende Laserstrahl nicht direkt ins Auge 40 ein, sondern gelangt vielmehr zunächst durch ein Prisma 86 auf einen Spiegel 88, von wo er zum Auge 40 hin reflektiert wird.

Das Beleuchtungslicht (vgl. Pfeil 92) gelangt zunächst durch einen Objektivkopf 84 und eine Objektivlinse 80 zu einem Umlenkprisma 82', wo es reflektiert wird und durch den halbdurchlässigen Spiegel 88 und das Prisma 86 zum Auge 40 hin gelangt. Nach dem Durchtritt durch das Prisma 86 treten bei diesem Ausführungsbeispiel das Laser- und Beleuchtungslicht aus im wesentlichen derselben Richtung ins menschliche Auge. Dies ist durch den Pfeil 90 angedeutet.

In Fig. 3 ist ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung veranschaulicht, bei dem das Optikeil eine Planplatte ist, die ähnlich wie der Spiegel schwenk- und kippbar ist, was durch die Pfeile 72 und 78 bzw. die Positionskennzeichnungen I und II angedeutet ist. Die Glasplatte ist in einer Anordnung 110 gehalten und aufgehängt, was später noch näher erläutert ist. Wie bei den vorhergehenden Ausführungsbeispielen sind gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet. Die Aufweitoptik umfaßt in diesem Ausführungsbeispiel zwei Linsen 60' und 60''. Der Strahlenbelegungsgang ist wie in Fig. 2b aufgebaut.

Zusätzlich ist ein Mikroskop 94 rechts des Prismas 82' angeordnet, von dem aus der Hintergrund des Auges 40 durch das Prisma 82' und das Prisma 86 im wesentlichen geradlinig beobachtet werden kann. Auch bei diesem Ausführungsbeispiel wird wiederum durch die Taumelbewegung der Glasplatte 100 der Laserstrahl aus seiner geradlinigen Ausrichtung ausgelenkt und in eine Kreisbewegung versetzt, deren Durchmesser durch Wahl des Kippwinkels der Glasplatte 100 einstellbar ist.

Fig. 4 veranschaulicht ein Ausführungsbeispiel einer Halterung und Antriebsanordnung der Glasplatte 100, die in Fig. 3 dargestellt ist.

Eine Gehäuseplatte 14, die im wesentlichen kreis-scheibenförmig ausgebildet ist und konzentrisch zum Strahlengang des Laserstrahls angeordnet ist, trägt an einer Außenseite in Strahlrichtung des Lasers nach unten weisende flanschartige Vorsprünge 116, die einen ersten Motor 74 halten, der zur Drehbewegung der Glasplatte 100 vorgesehen ist, was durch den Pfeil 78 angedeutet ist und noch näher erläutert wird. Auf der dem Motor 74 entgegengesetzten Seite trägt die Gehäuseplatte 114 drei um 120° zueinander versetzte Führungsstangen 118, die zur Laserstrahlquelle hin gerichtet, d.h. entgegengesetzt zum Motor 74 gerichtet sind. Im Bereich des äußeren Endes der Führungsstangen 118 ist eine parallel zur Gehäuseplatte 114 ausgerichtete, mit einer zentralen Öffnung versehene Platte 120 gehalten. An einem Randbereich trägt die Platte 120 eine Zahnstange 122. Mit dieser Zahnstange 122 befindet sich ein erstes Zahnrad 124 in Eingriff, das den Teil eines Getriebes eines zweiten Motors 112 bildet. Der Motor

112 dient dazu, die Platte 120 in der Höhe zu verstellen, was durch den Pfeil 126 angedeutet ist.

Auf der zum ersten Motor 74 entgegengesetzten Seite trägt die Gehäuseplatte 114 eine zentrale Öffnung begrenzenden Flanschring 128, auf dessen Außenseite ein Kugellager 130 angeordnet ist, das mit dem nach unten weisenden Flansch 134 eines zylindrischen Lagers in Eingriff steht. Das zylindrische Lager besitzt einen solchen Außendurchmesser, daß es mit Abstand bezüglich der Führungsstangen 118 innerhalb dieser angeordnet ist, und besitzt eine solche Höhe, daß es mit Abstand bezüglich der Platte 120 angeordnet ist. Der erste Motor 74 ist über eine Welle 76' mit einem zweiten Zahnrad 138 verbunden, das mit an der Außenseite des Flansches 134 des zylindrischen Lagers 132 ausgebildeten Zähnen 136 in Eingriff steht. Dreht sich somit der erste Motor 74, so hat dies zur Folge, daß sich die Lageranordnung 132 ebenfalls dreht.

Radial innerhalb der Führungsstangen 118 ist die Platte 120 mit einem Kugellager 140 versehen, in dem ein Arm 142 eines aus zwei gelenkig miteinander verbundenen Armen gebildeten Gestänges gelagert ist. Der Arm 142 ist dabei in der Ruhestellung in Fig. 4 nach unten, d.h. axial zum Laserstrahl ausgerichtet. Der zweite Arm erstreckt sich in der Ruhestellung horizontal radial nach innen in ein Lager 146, das als Pendellager ausgebildet ist. Das Pendellager 146 ist im wesentlichen zylindrisch, innen hohl ausgebildet und weist eine gewölbte Außenfläche auf, die mit einer entsprechend geformten gewölbten Innenfläche des Lagers 132 in Eingriff steht. Das Pendellager 146 ist mittels des zweiten Gestängearms 144 mit dem zylindrischen Lager 132 verbunden. Im Pendellager 146 ist die Glasplatte 100 fest angeordnet.

Die oben beschriebene Anordnung funktioniert folgendermaßen: Die Glasplatte 100 wird durch den ersten Motor 74 in Drehung versetzt, wobei der Antrieb über die Zahnräder 136, 138 erfolgt und durch die Kugellageranordnung 130 reibungsarm ist. Das Pendellager 146 der Glasplatte ist durch den als Mitnehmer dienenden zweiten Arm 144 des Gestänges mit dem rotierenden zylindrischen Lager 132 verbunden. Mittels des Gestänges 142, 144 kann die Glasplatte 100 in eine definierte Winkelstellung gebracht werden. Das Gestänge rotiert dabei mit, wobei es im zweiten Kugellager 140 gelagert ist. Dieses zweite Kugellager 140 ist mittels der Zahnstange 122 und einer Getriebeanordnung, bestehend aus dem Zahnrad 124 und dem Motor 112 in der Höhe verstellbar. Hierdurch wird das Pendellager 146, das im zylindrischen Lager 132 bewegbar angeordnet ist, mehr oder weniger schräggestellt und dementsprechend wird die Glasplatte 100 in eine mehr oder weniger starke Schräglage gebracht, was durch den Pfeil 72 angedeutet ist. Die Führungsstangen 118 dienen dabei zur exakten Höhenführung der Platte 120. Mittels dieser Anordnung kann somit die Glasplatte gedreht und gekippt werden, ähnlich wie dies bei dem Spiegel in den Fig. 2a und 2b und der Glasplatte in Fig. 3 der Fall war. Es wird somit ein rotierender Laserstrahl auf dem Augenhintergrund erzeugt, wobei durch entsprechende Kippung der Glasplatte ein unterschiedlicher radialer Abstand von der Strahlachse des nichtabgelenkten Laserstrahls erzeugt wird.

Fig. 5 zeigt eine zu der in Fig. 4 gezeigten alternative Anordnung. In einem Gehäuse 148, das eine zentrale zur Laserstrahlrichtung koaxiale Öffnung aufweist, ist ein Pendellager 146 mit kugelförmiger Außenwandung und zylindrischer Innenwandung angeordnet. Das Pendella-

ger 146' ist dreh- und schwenkbar im Gehäuse 148 gelagert. Im inneren des Pendellagers ist ein zylindrischer Hohlkörper fest angeordnet, der sich in axialer Richtung nach unten erstreckt und in dem in der Höhe des Pendellagers mit geringerer axialer Erstreckung die Glasplatte 100 fest gehalten ist. Das Gehäuse 148 ist so ausgebildet, daß es das Pendellager 146' an einem vorspringenden Abschnitt trägt, so daß dieses nebst Zylinder 146'' frei beweglich ist und nirgends am Gehäuse 146 anstoßen kann. Die zylindrische Halterung 146'' ist am unteren, dem Pendellager 146' entgegengesetzten Ende mit einem nach außen weisenden Flansch 150 versehen, auf dem eine Ringmagnetanordnung 152 sitzt. Die Ringmagnetanordnung ist dabei so ausgebildet, daß der Nordpol nach oben und der Südpol nach unten weist. Axial mit Abstand oberhalb dieser Ringmagnetanordnung sitzt eine zweite Ringmagnetanordnung 154 mit umgekehrt angeordneten Polen, d.h. der Nordpol weist nach unten und der Südpol nach oben, so daß sich die beiden Ringmagnete gegenseitig abstoßen. Die zweite Ringmagnetanordnung ist dabei so angebracht, daß sie fest am Gehäuse 148 sitzt und sich nicht in Eingriff mit dem Zylinder 146'' befindet, wobei sich jedoch die beiden Ringmagnete axial übereinander befinden. Unten am Gehäuse sitzt eine zylindrische Gehäuseplatte 114, die ebenfalls eine zentrale Öffnung 156 aufweist und Spulen 158 trägt. Im gezeigten Ausführungsbeispiel sind drei Spulen in 120° Abständen auf der Gehäuseplatte 114 angeordnet, die als Spulenträger dient.

Die in Fig. 5 gezeigte Anordnung funktioniert folgendermaßen: Über die Spulen 158 wird phasenverschoben ein definierter Strom eingepreßt. Der fest mit dem Halterungszylinder 146'' verbundene Ringmagnet 152 wird dabei durch die Spulen abgestoßen. Durch die 120°-Spulenanordnung wird ein kreisförmig wirkender Taumeleffekt hervorgerufen, ähnlich einem mit Drehstrom geregelten Motor. Der zweite Ringmagnet 154, der mit dem Gehäuse 148 verbunden ist, bewirkt durch seine definierte Abstoßung bezüglich des ersten Ringmagneten 152 eine Gegenkraft zu den Spulen 158. Auf diese Weise kann die Winkelstellung, d.h. die Kippstellung der Glasplatte 100 genau eingestellt werden. Je nach Stärke des eingestellten Stroms bei den Spulen kann die Winkelstellung der Glasplatte über das Pendellager 146' eingestellt werden. Wiederum kann auf diese Weise ein rotierender Laserstrahl mit einstellbarem Radius erzeugt werden.

Fig. 6a bis c zeigen eine zu der in Fig. 5 gezeigten alternative Anordnung zur Realisierung einer Taumbewegung auf elektromagnetischem Wege. Die zylindrische Halterung 146'' der Planplatte 100 ist kardanisch aufgehängt, so daß Kippbewegungen in jede Richtung möglich sind. Dies ist mittels eines in Höhe der Glasplatte 100 vorgesehenen Zwischenkäfigs 162 und des den Halterungszylinder 146'' mit Abstand umgreifenden Gehäuses 148 möglich. Die zylindrische Halterung 146'' weist am in Fig. 6a unteren Ende einen sich nach außen erstreckenden radialen Flansch 150 auf, der vier Dauermagnete trägt, deren Nordpole nach oben weisen. Das Gehäuse 148 weist einen sich in Höhe des Zwischenkäfigs 162 nach innen erstreckenden radialen Flansch 148' auf, der vier Dauermagnete trägt, deren Nordpole nach unten weisen und die sich annähernd axial oberhalb der ersten Dauermagnete befinden. Die Dauermagnete 152, 154 halten den kardanisch gelagerten Teil der Anordnung in seiner Lage. Die vier Magnetpaare sind dabei jeweils um 90° versetzt und einander gegenüberliegend und gegensinnig gepolt angeordnet.

Axial mit Abstand von dem Flansch 150 trägt das Gehäuse 148 am unteren Ende Spulenhalterungen 114' aus z.B. Weicheisen. Auf diesen Spulenhaltern 114' sind vier um 90° versetzte Magnetspulen 158 angeordnet. Jeweils zwei einander gegenüberliegende Spulen sind dabei in Reihe geschaltet, so daß bei Stromfluß jeweils eine Spule ein anziehendes Moment auf den Taumelkörper ausübt und eine benachbarte Spule ein abstoßendes Moment. Durch die Reihenschaltung von jeweils zwei Spulen ergeben sich somit zwei Phasen, und jede Phase wird mit einem sinusförmigen Strom beaufschlagt, wobei eine Phasenverschiebung von 90° vorgesehen ist. Auf diese Weise ist bei idealen mechanisch-magnetischen Voraussetzungen eine exakt kreisförmige Taumbewegung des Taumelkörpers erzielbar.

Die Fig. 6b und 6c stellen eine Draufsicht auf den Taumelkörper mit Ausgleichsgewicht 160 und Magneten und Glasplatte 100 von oben dar, während Fig. 6c eine Ansicht der Anordnung von unten ist.

Bei einer Schaltung zur Durchführung dieser elektromagnetisch erzeugten Taumbewegung z.B. beim Ausführungsbeispiel der Fig. 6 muß auf zwei getrennten Kanälen ein eingepreßter sinusförmiger Strom geliefert werden, wobei die Signale um 90° zueinander phasenverschoben sein müssen. Diese Phasenverschiebung darf sich selbstverständlich bei unterschiedlichen Frequenzen entsprechend einer unterschiedlich schnellen Rotation nicht verändern. Die Stromamplitude muß dabei einstellbar sein, um einen Kippwinkel beliebiger Wahl einstellen zu können.

Fig. 7 veranschaulicht schematisch eine andere Möglichkeit der Anordnung der feststehenden Magneten. Um ein Festkleben der Magnete zu verhindern, sind bei diesem Ausführungsbeispiel die am Gehäuse fest angeordneten Magnete 154 schräg nach außen und unten weisend angeordnet, so daß ihre Stirnflächen nach außen geneigt sind. Wenn der Taumelkörper stark ausschlägt und somit die mit dem Taumelkörper fest verbundenen Magnete 152 in eine starke Schräglage geraten, dann sind sie bei der in Fig. 7 gezeigten Anordnung jedoch in einer solchen extremen Lage im Höchstfall annähernd axial zu diesen. Hierbei sind die Stirnflächen der Magnete plan zueinander ausgerichtet, und es kann zu keinem Verkleben der Magnete kommen, sondern vielmehr stoßen sich diese Magnete aufgrund der entgegengesetzten Polung ab. Ferner können die Magnete zur besseren Verteilung der Feldlinien auch schräg gestellt werden.

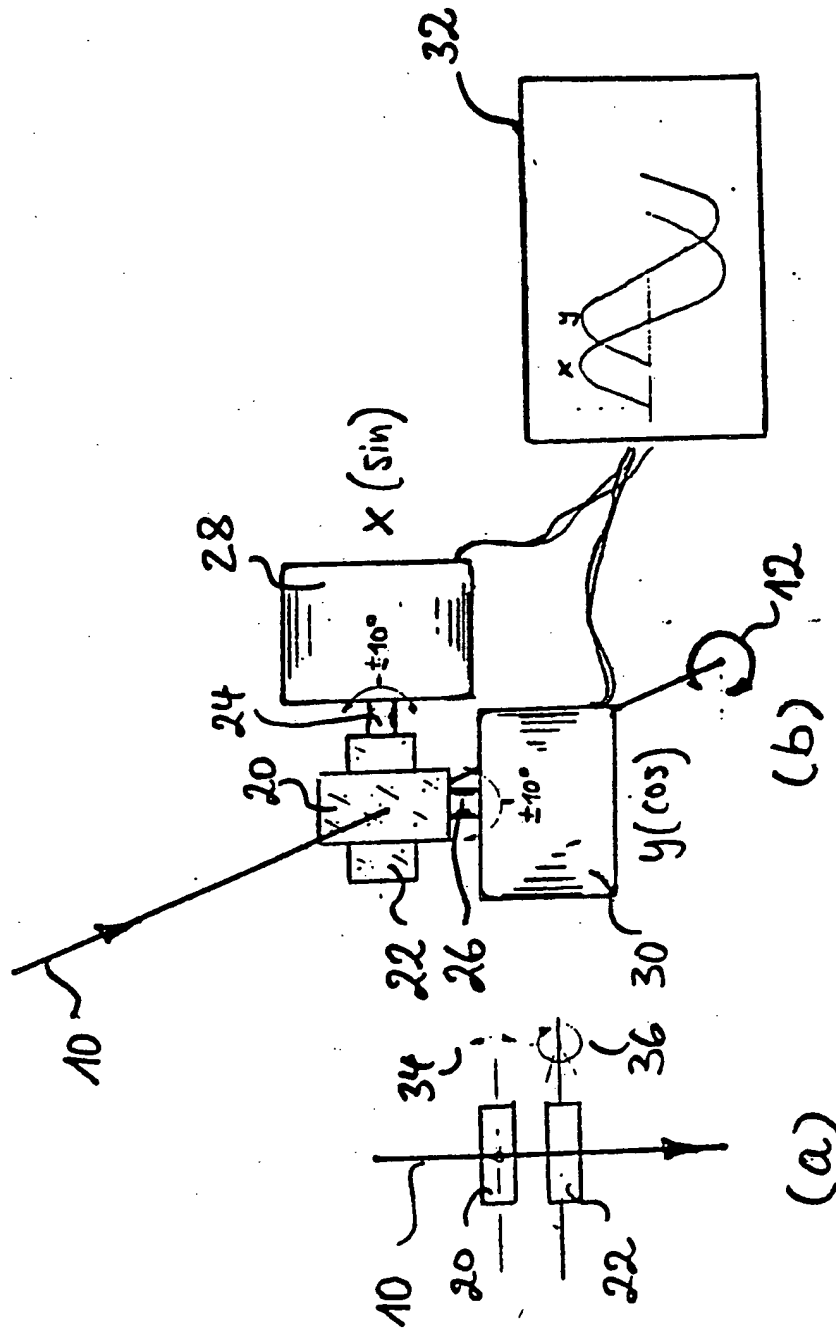
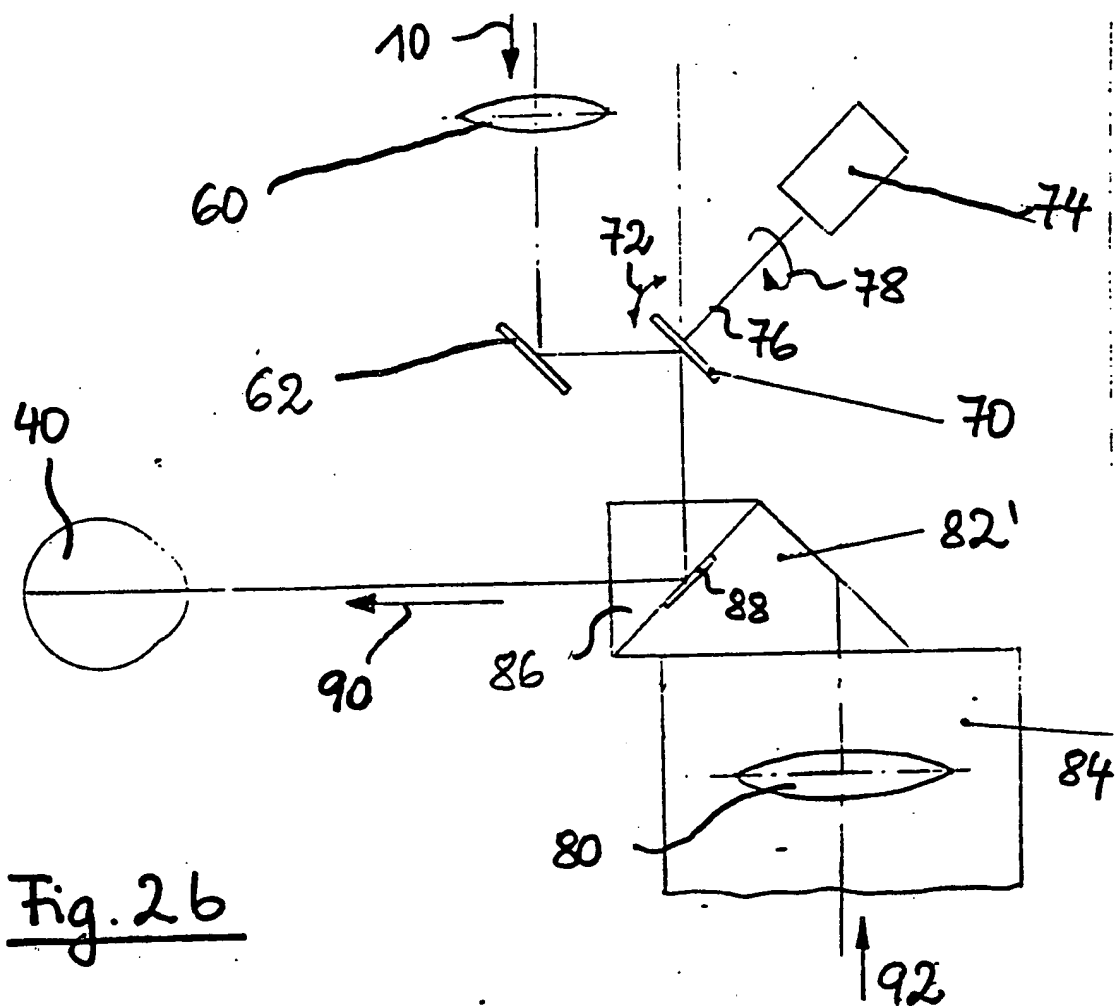
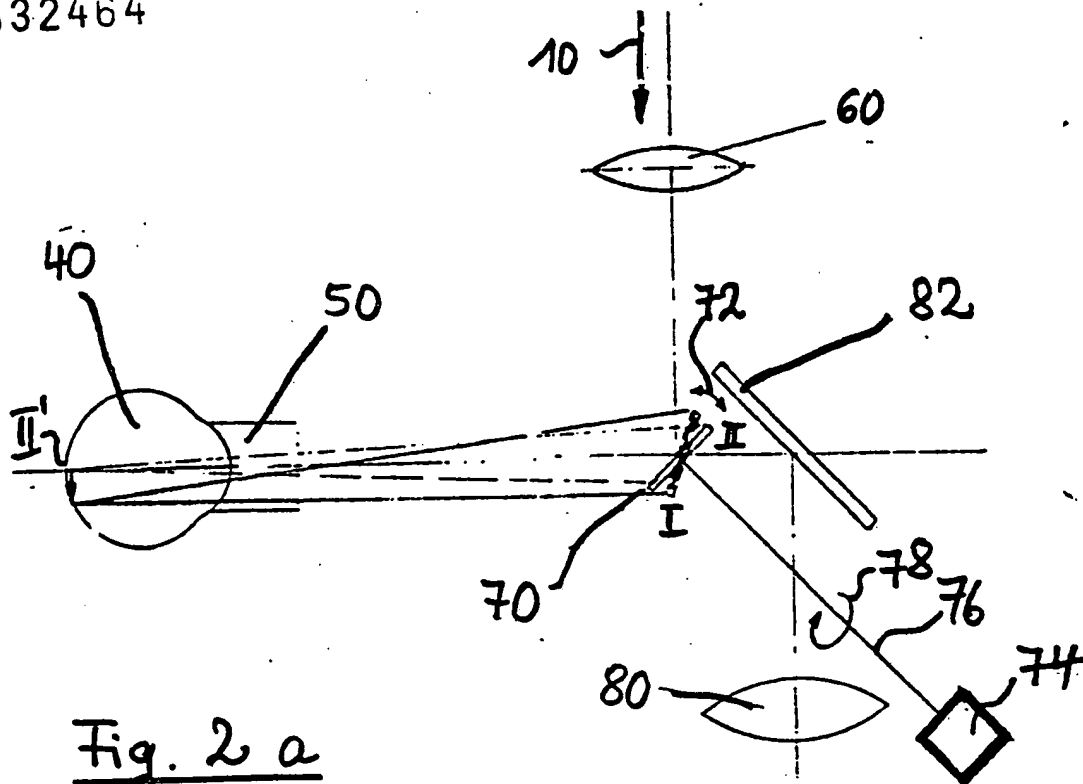
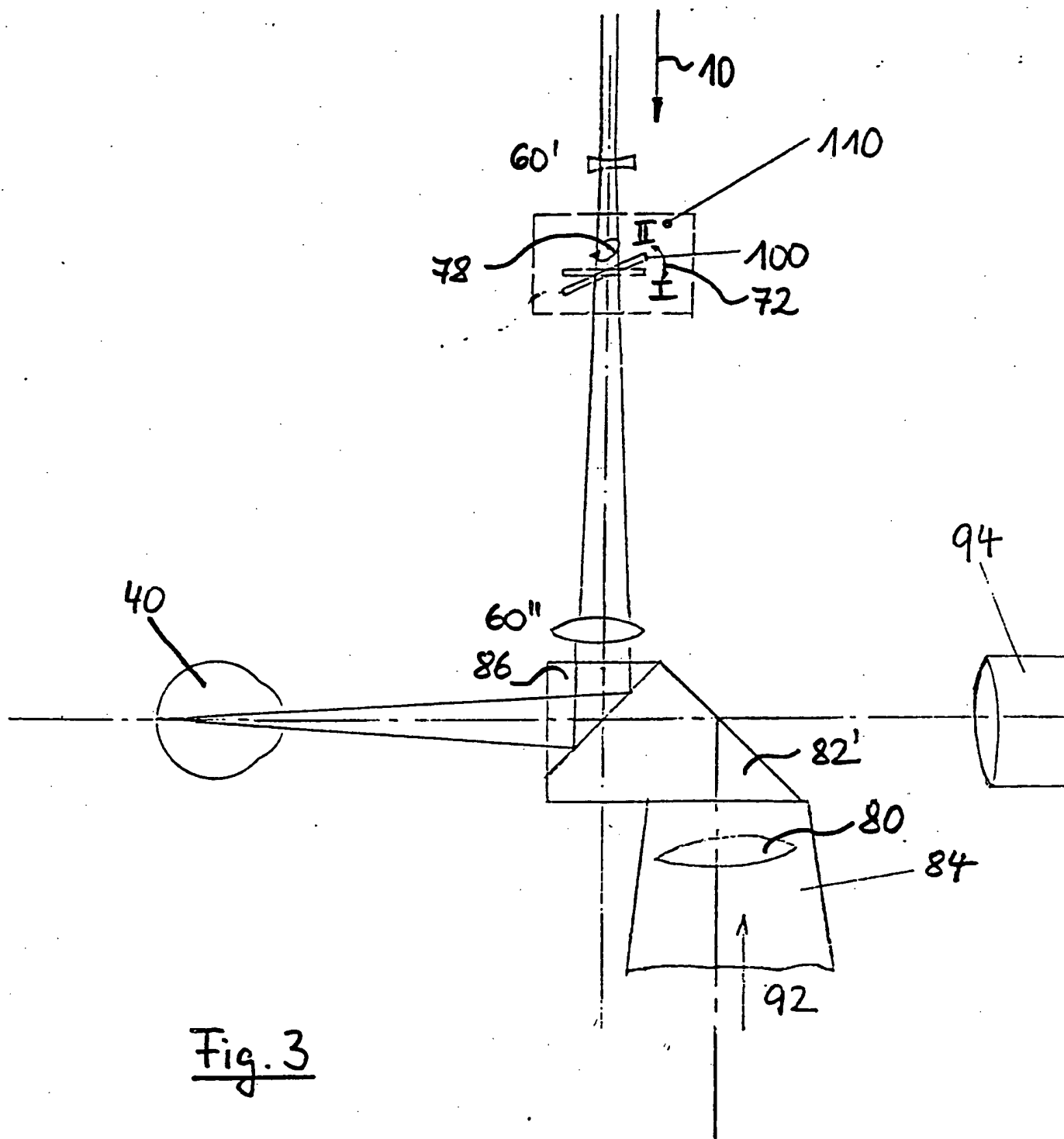
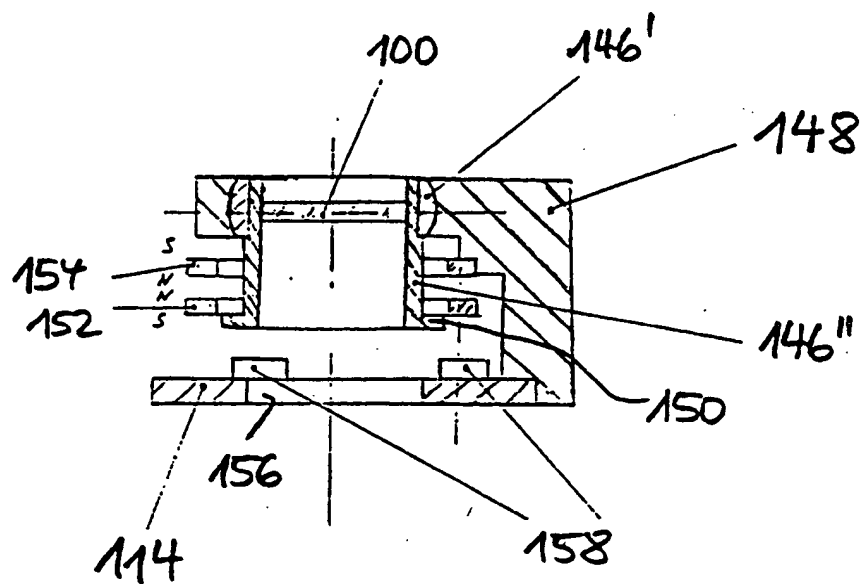
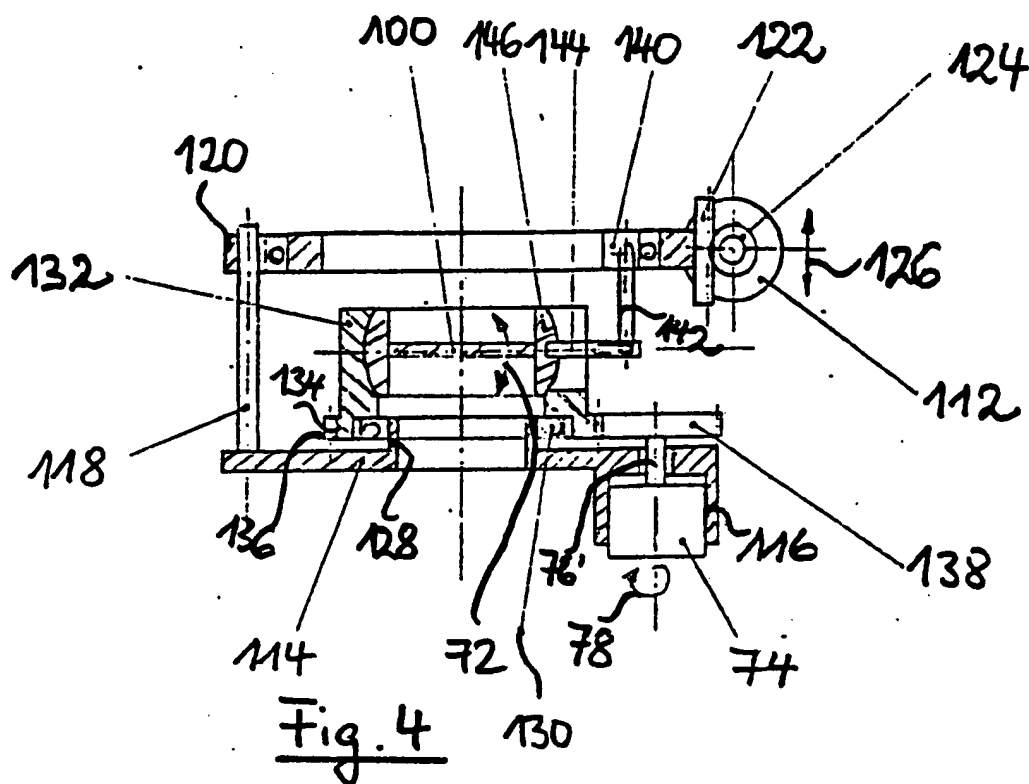
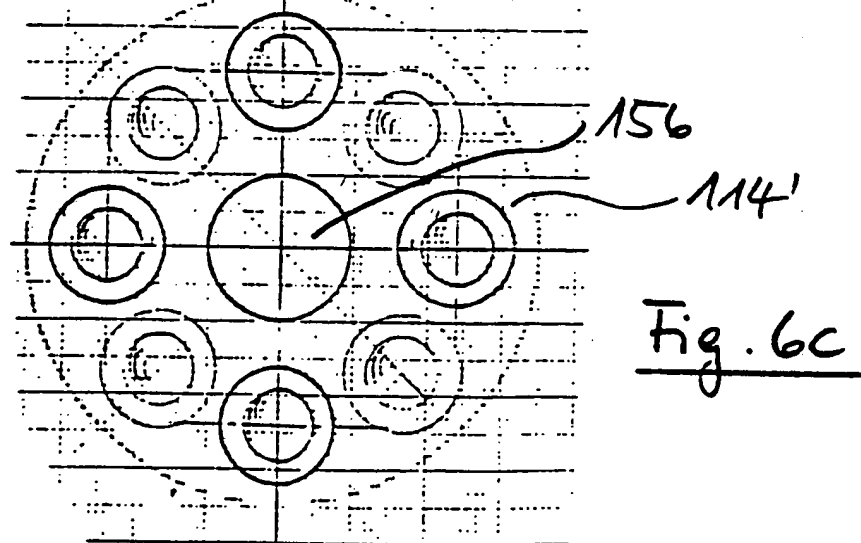
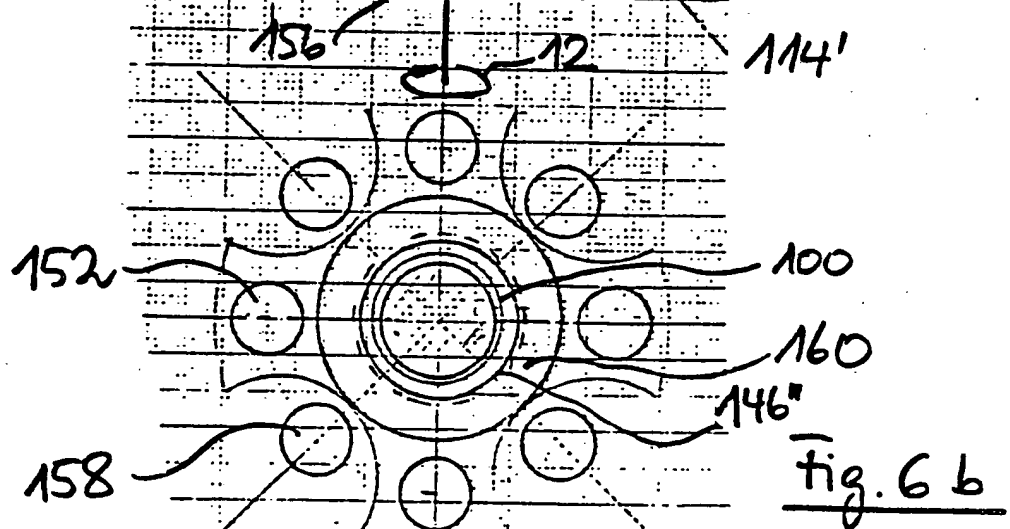
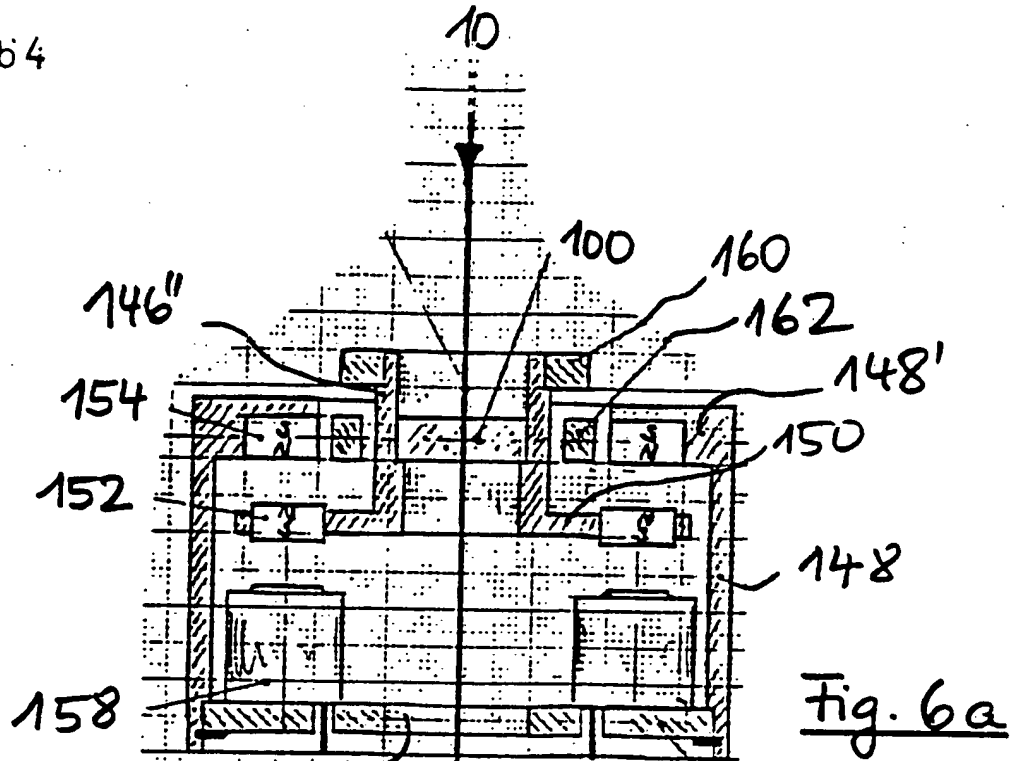


Fig. 1



Fig. 3





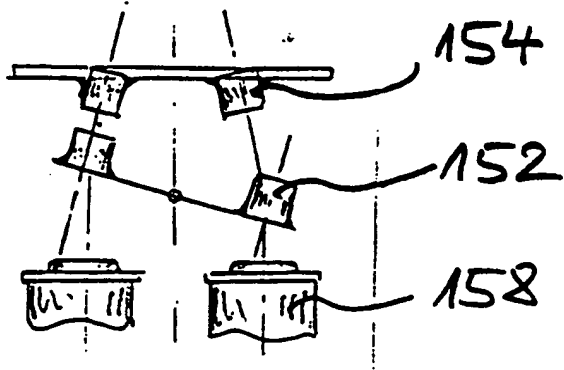


Fig. 7

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.